

## **PEMANFAATAN PERANGKAT LUNAK OSCILLOSCOPE 2.51 DAN CURVEEXPERT 1.3 DALAM PENGUKURAN FAKTOR KUALITAS AKUSTIK RESONATOR**

**Ikhsan Setiawan<sup>1</sup> dan Agung B.S. Utomo**  
*Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Gadjah Mada  
Sekip Utara, Yogyakarta 55281*

### **ABSTRAK**

Pada makalah ini dipaparkan tentang pemanfaatan perangkat lunak Oscilloscope 2.51 dan CurveExpert 1.3 dalam pengukuran faktor kualitas akustik sebuah resonator. Oscilloscope 2.51 dapat digunakan sebagai *storage oscilloscope* untuk menampilkan bentuk gelombang sinyal yang masuk dari mikrofon melalui kartu suara pada komputer, maupun sebagai *spectrum analyzer* apabila fasilitas *FFT* (*Fast Fourier Transform*) yang tersedia padanya diaktifkan sehingga amplitudo relatif sinyal dapat diukur. Dalam eksperimen ini, amplitudo gelombang bunyi di dalam resonator diukur pada berbagai frekuensi bunyi di sekitar frekuensi resonansi resonator. Kurva resonansi dapat diperoleh dengan melakukan pengepasan kurva (*curve fitting*) terhadap data hasil eksperimen dengan menggunakan perangkat lunak CurveExpert 1.3. Faktor kualitas resonator akustik dapat dihitung dari konstanta-konstanta yang diperoleh dari hasil pengepasan kurva. Ditunjukkan juga tentang bagaimana pemahaman fisis dapat membantu kita dalam memilih nilai-nilai coba yang perlu dimasukkan sebagai nilai awal iterasi dalam mencari konstanta-konstanta pengepasan kurva.

**Kata kunci:** Oscilloscope 2.51, CurveExpert 1.3, Faktor Kualitas Akustik

## **UTILIZATION OF OSCILLOSCOPE 2.51 AND CURVEEXPERT 1.3 SOFTWARES IN THE MEASUREMENT OF THE ACOUSTICAL QUALITY FACTOR OF A RESONATOR**

### **ABSTRACT**

In this paper, we describe the utilization of Oscilloscope 2.51 and CurveExpert 1.3 softwares in the measurement of the acoustical quality factor of a resonator. The Oscilloscope 2.51 can be used as a storage oscilloscope to display the waveform of the input signal coming from a microphone via a soundcard in computer, and also as a spectrum analyzer when the FFT (fast fourier transform) facility is activated so that the relative amplitude of signal can be measured. In this experiment, the amplitude of soundwave in resonator was measured for various sound frequencies around the resonance frequency of the resonator. The resonance curve can be obtained by making a curve fitting on the experimental data by using CurveExpert 1.3. The acoustical quality factor can be calculated from the curve fitting constants. It is also shown how the physical understanding can help us for choosing the guess values which have to be used as initial values in iteration for seeking the curve fitting constants.

**Keywords:** Oscilloscope 2.51, CurveExpert 1.3, acoustical quality factor

---

<sup>1</sup> E-mail: ikhsan\_s@ugm.ac.id, Website: <http://setiawan.synthasite.com>

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komputer dan informasi telah banyak memudahkan pekerjaan manusia di segala bidang, tidak terkecuali dalam eksperimen fisika. Berbagai macam perangkat lunak dapat digunakan dalam pengambilan data eksperimen ataupun untuk analisisnya yang dapat diperoleh dari internet baik yang berlisensi gratis (*freeware*) maupun gratis-terbatas (*shareware*). Selain itu, adanya perangkat keras kartu suara (*sound card*) yang berharga murah dan telah umum terpasang pada unit komputer juga memberikan kemudahan dalam eksperimen fisika yang berkaitan dengan bunyi. Bensky dan Frey (2001) menggunakan bantuan kartu suara pada komputer dalam melakukan pengukuran-pengukuran efek Doppler akustik untuk sumber-sumber bunyi yang bergerak dipercepat maupun yang tidak dipercepat. Azooz (2007) memaparkan tentang demonstrasi eksperimental pelebaran spektral akibat efek Doppler dengan menggunakan bantuan kartu suara pada komputer. Sedangkan Moloney dan Hatten (2001) telah melakukan pengukuran faktor kualitas akustik dan rugi energi dalam pipa silindris untuk mempelajari pengaruh diameter pipa resonator silindris terhadap faktor kualitas akustiknya.

Pada makalah ini disajikan tentang pemanfaatan dua buah perangkat lunak dalam pengukuran faktor kualitas akustik ( $Q$ ) resonator silindris, yaitu Oscilloscope 2.51 dan CurveExpert 1.3. Perangkat lunak Oscilloscope 2.51 berlisensi *freeware* dan dapat diperoleh dalam format zip yang berukuran hanya sekitar 100 KB dari <http://www.softpedia.com/get/Science-CAD/Oscilloscope.shtml>, sedangkan CurveExpert 1.3 bersifat *shareware*, dengan masa evaluasi 30 hari dan tidak ada batasan fasilitas, dapat diperoleh dalam format .zip yang berukuran sekitar 1 MB dari <http://curveexpert.webhop.net/>.

Dalam eksperimen ini, Oscilloscope 2.51 digunakan sebagai *storage oscilloscope* yang dapat menampilkan bentuk gelombang sinyal input, maupun sebagai *spectrum analyzer* yang dapat menampilkan spektrum sinyal input dengan menggunakan fasilitas *FFT* (*Fast Fourier Transform*) yang tersedia padanya. Sedangkan CurveExpert 1.3 digunakan dalam analisis data, yaitu untuk melakukan pengepasan kurva (*curve fitting*) dari data yang telah diperoleh, dan hasilnya digunakan untuk menghitung faktor kualitas akustik pipa resonator.

## 2. DASAR TEORI

Berikut ini dipaparkan tentang gerak osilasi harmonik teredam terpaksa dengan merujuk pada Fowles (1986). Persamaan diferensial gerak osilasi harmonik teredam terpaksa suatu sistem, dengan gaya pemacu sinusoidal  $F(t) = F_0 e^{i\omega t}$ , adalah

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\gamma \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m} e^{i\omega t} \quad (1)$$

dengan  $x$  adalah pergeseran,  $t$  adalah waktu,  $\gamma$  adalah tetapan redaman,  $\omega$  adalah frekuensi anguler gaya pemacu,  $F_0$  adalah amplitudo gaya pemacu,  $m$  adalah massa sistem, dan  $\omega_0$  adalah frekuensi alamiah anguler sistem tanpa redaman.

Penyelesaian persamaan (1) dapat ditulis sebagai

$$x(t) = A e^{i(\omega t - \phi)} \quad (2)$$

dengan  $A$  adalah amplitudo pergeseran dan  $\phi$  adalah beda fase antara osilasi yang terjadi dengan gaya pemacu. Keduanya merupakan fungsi frekuensi anguler gaya pemacu ( $\omega$ ) dan berturut-turut diungkapkan sebagai

$$A(\omega) = \frac{F_0/m}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\gamma^2 \omega^2}} \quad (3)$$

dan

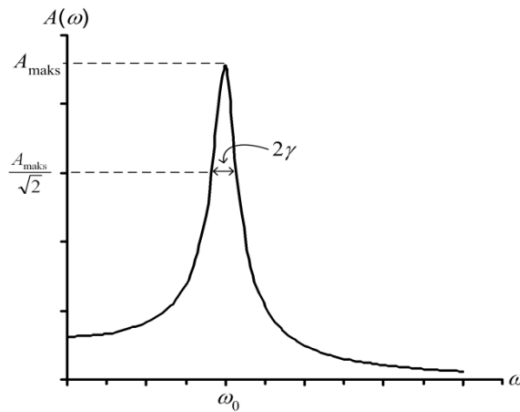
$$\phi(\omega) = \tan^{-1} \left( \frac{2\gamma\omega}{\omega_0^2 - \omega^2} \right) \quad (4)$$

Plot grafik persamaan (3) ditunjukkan oleh Gambar 1, dan dengan menggunakan  $dA/d\omega = 0$  dapat diperoleh amplitudo tanggap maksimum ( $A_{\text{maks}}$ )

$$A_{\text{maks}} = \frac{F_0}{2m\omega_d\gamma} \quad (5)$$

yang tercapai pada saat frekuensi anguler gaya pemacu sebesar

$$\omega_R = \sqrt{\omega_0^2 - 2\gamma^2} = \sqrt{\omega_d^2 - \gamma^2} \quad (6)$$



**Gambar 1.** Grafik amplitudo tanggap  $A(\omega)$  sebagai fungsi frekuensi anguler gaya pemacu  $\omega$  menurut persamaan (3). Lebar resonansi adalah  $\Delta\omega = 2\gamma$ .

yang disebut frekuensi resonansi anguler, dengan

$$\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2} \quad (7)$$

adalah frekuensi anguler osilasi teredam.

Untuk redaman lemah ( $\gamma \ll \omega_0$ ) berlaku  $\omega_R \cong \omega_d \cong \omega_0$  dan amplitudo maksimum

$$A_{\text{maks}} \cong \frac{F_0}{2m\omega_0\gamma} \quad (8)$$

Jika  $\omega = \omega_{\pm} = \omega_0 \pm \gamma$  maka amplitudo tanggapnya adalah  $A = A_{\text{maks}}/\sqrt{2}$  dan  $\Delta\omega = \omega_+ - \omega_- = 2\gamma$  disebut sebagai lebar resonansi (*resonance width*).

Faktor kualitas ( $Q$ ) resonator didefinisikan sebagai

$$Q = 2\pi \times \frac{\text{Energi yang tersimpan}}{\text{Energi yang hilang tiap siklus}} \quad (9)$$

Faktor kualitas yang tinggi mengindikasikan kecepatan disipasi energi yang relatif rendah dibandingkan dengan frekuensi osilasi. Faktor kualitas dapat juga dinyatakan sebagai

$$Q = \frac{\omega_d}{2\gamma} \quad (10)$$

dan untuk redaman yang lemah

$$Q \cong \frac{\omega_0}{2\gamma} \quad (11)$$

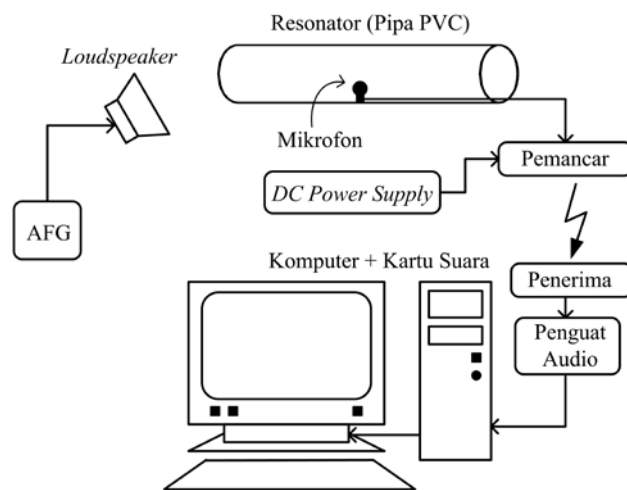
Mengingat bahwa  $2\gamma = \Delta\omega$ , maka faktor kualitas dapat diungkapkan sebagai

$$Q \cong \frac{\omega_0}{\Delta\omega} = \frac{f_0}{f_+ - f_-} \quad (12)$$

dengan  $f_0 = \omega_0/2\pi$  adalah frekuensi gaya pemacu yang menimbulkan tanggap maksimum,  $f_+ = \omega_+/2\pi$  dan  $f_- = \omega_-/2\pi$  adalah frekuensi-frekuensi gaya pemacu yang menimbulkan tanggap sebesar  $1/\sqrt{2}$  tanggap maksimum. Jadi, dengan mengukur ketiga macam frekuensi ini, maka faktor kualitas resonator dapat ditentukan.

### 3. METODE EKSPERIMEN DAN ANALISIS

Pada eksperimen ini, resonator yang digunakan adalah resonator silindris yang terbuat dari pipa PVC dengan kedua ujungnya terbuka sehingga membentuk resonator setengah panjang gelombang. Panjang pipa PVC adalah 70 cm dan diameternya adalah 2 inchi dengan diameter-dalam sekitar 4,6 cm. Pada suhu kamar dengan cepat rambat bunyi di udara sekitar 340 m/s, secara teori resonator ini memiliki frekuensi resonansi sekitar 243 Hz.



**Gambar 2.** Skema susunan peralatan eksperimen pengukuran faktor kualitas akustik resonator silindris terbuka. AFG adalah *audio function generator*.

Skema susunan lengkap peralatan eksperimen ditunjukkan oleh Gambar 2. Gaya pemacu sinusoidal diberikan oleh gelombang bunyi yang dihasilkan oleh sebuah *loudspeaker* yang diberi sinyal oleh AFG (*Audio Function Generator*) digital model GFG 8016G. Tanggap resonator terhadap bunyi dideteksi oleh mikrofon yang diletakkan di tengah di bagian dalam pipa resonator. Dalam hal ini, digunakan sistem mikrofon jepit kecil nirkabel (*wireless clip-on mini-microphone*) lengkap dengan unit pemancar dan unit penerima. Sinyal dari mikrofon dikirimkan oleh pemancar kepada penerima dan kemudian diteruskan ke komputer melalui sebuah kartu suara yang telah terpasang padanya. Pada layar komputer, sinyal tersebut diamati dengan menggunakan Oscilloscope 2.51 yang dapat secara *real time* menampilkan bentuk gelombang maupun spektrumnya dengan menggunakan fasilitas *FFT*. Data yang ditampilkan oleh Oscilloscope 2.51 dapat juga disimpan dalam file berformat txt.

Untuk keperluan pengukuran faktor kualitas akustik resonator, eksperimen dilakukan dengan cara mengukur amplitudo relatif tanggap resonator untuk berbagai nilai frekuensi bunyi yang diberikan oleh *loudspeaker*. Agar lebih mudah, amplitudo tanggap ini diukur melalui

tampilan *FFT* pada perangkat lunak Oscilloscope 2.51. Selanjutnya dibuat plot grafik amplitudo sinyal tanggap versus frekuensi.

Analisis grafik ini dilakukan dengan menerapkan pengepasan kurva (*curve fitting*) dengan menggunakan perangkat lunak CurveExpert 1.3 berdasarkan persamaan (3) yang telah dimodifikasi menjadi

$$A(f) = \frac{F_0/4\pi^2 m}{\sqrt{(f_0^2 - f^2)^2 + (\gamma^2/\pi^2)f^2}} \quad (13)$$

dengan menggunakan hubungan  $\omega = 2\pi f$ . Persamaan (11) memiliki bentuk persamaan

$$y = \frac{a}{\sqrt{(b^2 - x^2)^2 + cx^2}} \quad (14)$$

dengan  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  adalah konstanta-konstanta pengepasan kurva yang perlu dicari. Hubungan variabel-variabel dan konstanta-konstanta dalam persamaan (13) dan persamaan (14) ditunjukkan oleh Tabel 1. Karena model persamaan (14) tidak tersedia pada CurveExpert 1.3, maka digunakan fasilitas “*user-defined*” untuk mendefinisikan model persamaan tersebut ke dalam CurveExpert 1.3 dan dapat diberi nama model yang sembarang. Dengan demikian, apabila  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  adalah telah diperoleh maka ketiga macam nilai frekuensi  $f_0$ ,  $f_+$ , dan  $f_-$  dapat ditentukan, dan selanjutnya faktor kualitas akustik resonator dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (12).

Dalam eksperimen ini, komputer yang digunakan adalah personal komputer dengan prosesor IP II 350, sedangkan sistem operasi yang digunakan adalah Window98. Meskipun demikian, Oscilloscope 2.51 dapat pula beroperasi dalam lingkungan WindowsXP maupun Windows Vista. Sedangkan CurveExpert 1.3 dapat bekerja dalam WindowsXP namun tidak dapat berjalan dalam lingkungan Window Vista.

CurveExpert 1.3 menggunakan metode Levenberg-Marquardt untuk memecahkan masalah regresi tak linear. Informasi lengkap tentang CurveExpert 1.3 dapat diperoleh dari fasilitas “Help” yang ada padanya.

**Tabel 1.** Hubungan variabel-variabel dan tetapan-tetapan dalam persamaan (13) dan persamaan (14).

Persamaan (13)	Persamaan (14)
$A(f)$	$y$
$f$	$x$
$F_0/4\pi^2 m$	$a$
$f_0$	$b$
$\gamma^2/\pi^2$	$c$

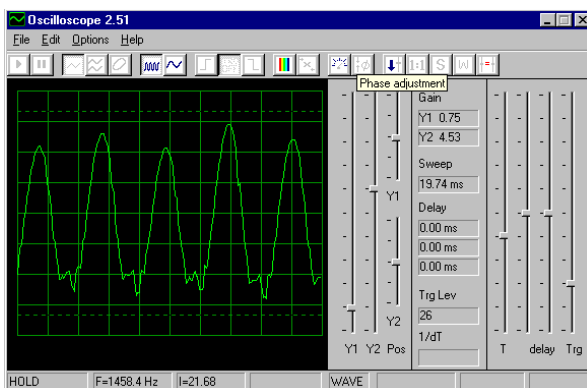
#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 3 adalah tampilan antarmuka (*interface*) Oscilloscope 2.51 pada layar monitor yang memperlihatkan sinyal tanggap resonator berupa bentuk gelombang sinusoidal saat terjadi resonansi pada frekuensi sekitar 243 Hz. Sedangkan Gambar 4 menunjukkan spektrum sinyal tanggap resonator pada tampilan Oscilloscope 2.51 dengan menggunakan fasilitas *FFT* dimana tampak dengan jelas puncak-puncak yang mengindikasikan harmonik-harmonik pertama, kedua, dan ketiga. Terjadinya resonansi diidentifikasi dari puncak harmonik pertama yang maksimum. Adanya komponen-komponen frekuensi nada atas (harmonik kedua dan ketiga) menyebabkan timbulnya “cacat” sinusoidal pada Gambar 3.

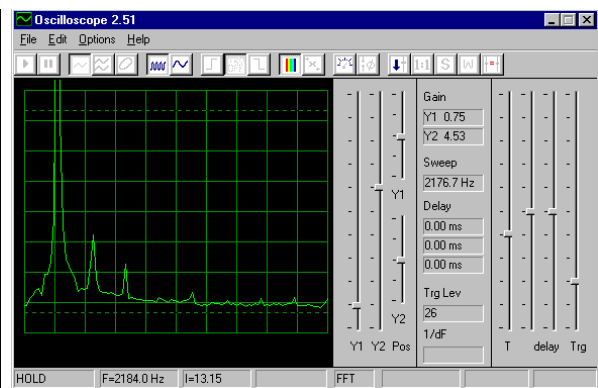
Data dari Gambar 3 dan Gambar 4 dapat disimpan dalam *file* berformat txt untuk kemudian dapat dimasukkan ke dalam program pengolah data seperti Excel apabila diperlukan. Fasilitas-

fasilitas lain yang terdapat pada perangkat lunak ini dapat dengan mudah dipelajari dari dokumen di dalam file Winscope.hlp.

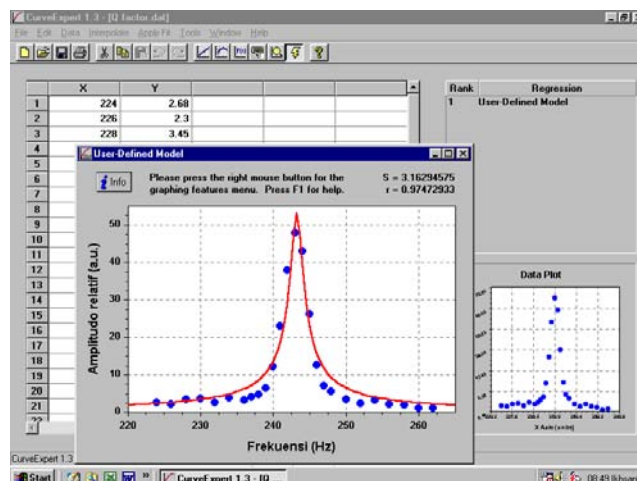
Gambar 5 adalah antarmuka CurveExpert 1.3 yang memperlihatkan titik-titik hasil pengukuran tanggap resonator sebagai fungsi frekuensi bunyi sumber (*loudspeaker*), dan hasil pengepasan kurva berdasarkan pada persamaan (13) atau persamaan (14) yang ditunjukkan oleh garis kurva. Pengepasan kurva dilakukan dengan memasukkan nilai-nilai coba  $a = 25700$ ,  $b = 243$ , dan  $c = 4$  seperti tertera pada Tabel 2. Dengan memperhatikan hubungan-hubungan yang tertera pada Tabel 1, nilai coba  $b = 243$  langsung dipilih berdasarkan taksiran frekuensi resonansi ( $\approx f_0$ ) dari hasil pengamatan berdasarkan pada Gambar 3 atau Gambar 4. Sedangkan nilai coba  $c = \gamma^2/\pi^2 = 4$  dipilih berdasarkan taksiran lebar resonansi ( $\Delta\omega = 2\gamma$ ) dari titik-titik data pada Gambar 5 yang memberikan nilai  $\gamma \approx 2\pi$ . Pemilihan nilai coba  $a$  dilakukan dengan terlebih dahulu menaksir nilai  $F_0/m$  dengan menggunakan persamaan (8) dan nilai-nilai  $A_{\text{maks}} = 53$  a.u.,  $\omega_0 = 2\pi f_0 \approx 2\pi(243 \text{ Hz})$  dan  $\gamma = 2\pi \text{ rad/s}$  yang diperoleh dari pendekatan titik-titik data pada Gambar 5.



**Gambar 3.** Tampilan antarmuka perangkat lunak Oscilloscope 2.51 pada layar monitor yang memperlihatkan sinyal tanggap resonator saat terjadi resonansi pada frekuensi sekitar 243 Hz.



**Gambar 4.** Spektrum sinyal tanggap pada Gambar 3 yang diperoleh dengan menggunakan fasilitas FFT pada perangkat lunak Oscilloscope 2.51.



**Gambar 5.** Antarmuka CurveExpert 1.3 yang memperlihatkan hasil pengukuran tanggap resonator sebagai fungsi frekuensi bunyi sumber (*speaker*) dalam bentuk titik-titik data, dengan hasil pengepasan kurva yang didasarkan pada persamaan (12) atau persamaan (13) ditunjukkan oleh garis kurva.

Dengan menekan tombol “Info” seperti yang terlihat pada Gambar 5, maka diperoleh informasi-informasi seperti nilai tetapan-tetapan  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  hasil pengepasan kurva dan dirangkum oleh Tabel 2, serta *standard error* = 3,1629457 dan koefisien korelasi = 0,9747293. Selain itu

dapat juga diperoleh keterangan bahwa pengepasan kurva ini dicapai dalam 10 iterasi (dengan nilai toleransi  $10^{-6}$  dapat masukkan melalui menu “option”). Dari hasil-hasil tersebut, diperoleh nilai frekuensi resonansi  $f_R \cong f_d \cong f_0 = 243,2$  Hz ( $f_R$  dan  $f_d$  berturut-turut adalah frekuensi resonansi dan frekuensi osilasi dengan redaman) dan puncak kurva resonansi atau amplitudo relatif maksimum  $A_{\text{maks}} \approx 53,1$  a.u. Nilai-nilai frekuensi yang memberikan amplitudo sebesar  $A_{\text{maks}}/\sqrt{2}$  diperoleh sebesar  $f_+ \cong 244,05$  Hz dan  $f_- \cong 242,35$  Hz, sehingga nilai faktor kualitas akustik resonator yang digunakan di sini adalah  $Q \approx 143$  yang dihitung dengan menggunakan persamaan (12). Hasil lainnya yang juga dapat diperoleh adalah nilai tetapan redaman, yaitu  $\gamma = \pi\sqrt{c} \cong 5,4$  rad/s, yang mengindikasikan redaman yang lemah karena jauh lebih kecil dari frekuensi alamiah sistem ( $\omega_0$ ).

**Tabel 2.** Nilai coba tetapan-tetapan  $a$ ,  $b$ , dan  $c$ , serta nilainya hasil pengepasaannya kurva.

Tetapan	Nilai coba	Hasil pengepasan kurva	
$a$	25700	22173,008	N/kg
$b$	243	243,235	Hz
$c$	4	2,944	Hz <sup>2</sup>

Dengan demikian, peralatan eksperimen pengukuran faktor kualitas akustik resonator yang diuraikan pada makalah ini harganya jauh lebih murah apabila dibandingkan dengan penggunaan *storage oscilloscope* ataupun *spectrum analyzer* yang harganya cukup mahal. Hal ini antara lain dikarenakan oleh perangkat komputer dengan sistem operasinya telah umum tersedia di laboratorium, dan perangkat lunak Oscilloscope 2.51 dan CurveExpert 1.3 dapat dioperasikan dalam lingkungan yang minimal seperti Windows98 dengan prosesor IP II 350. Di samping itu, kedua perangkat lunak ini juga tetap dapat beroperasi dengan baik dalam WindowsXP.

## 5. KESIMPULAN

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa eksperimen pengukuran faktor kualitas akustik resonator menjadi relatif murah dan mudah dengan memanfaatkan perangkat-perangkat lunak Oscilloscope 2.51 yang berlisensi *freeware* dan CurveExpert 1.3 yang berlisensi *shareware* yang keduanya dapat diperoleh dari internet. Hasil pengukuran faktor kualitas akustik resonator pipa silindris terbuka yang digunakan pada eksperimen ini adalah sekitar 143.

## DAFTAR PUSTAKA

- Azooz, A., 2007, Experimental demonstration of Doppler spectral broadening using the PC sound card, *Am. J. Phys.* Vol. 75 No. 2, hal. 184-188.
- Bensky, T.J. dan Frey, S.E., 2001, Computer sound card assisted measurements of the acoustic Doppler effect for accelerated and unaccelerated sound sources, *Am. J. Phys.* Vol. 69 No. 12, hal. 1231-1236.
- Fowles, G.R., 1986, *Analytical Mechanics*, Edisi ke-4, Bab 3, CBSS College Publishing.
- Moloney, M.J. dan Hatten, D.L., 2001, Acoustic quality factor and energy losses in cylindrical pipes, *Am. J. Phys.* Vol. 69 No. 3, hal. 311-314.